

複数アクセスポイントを用いた 無線全二重通信による データ電力同時伝送手法の 提案と評価

大阪大学 基礎工学部 情報科学科
村田研究室 川崎慈英

OSAKA UNIVERSITY 特別研究報告 2017/02/21

無線センサネットワークにおける電波電力伝送

- 無線センサネットワークにおける**電源問題**
 - 定期的なバッテリーの交換が必要
- 電波電力伝送を用いた**バッテリーを必要としないセンサネットワーク**
 - アクセスポイント (AP) は電力信号を送信
 - センサノードは定期的にデータ伝送
- 電波電力伝送を用いた**無線センサネットワークの課題**
 - 電波資源の逼迫[2]
 - 電力伝送用の帯域の確保が困難
 - 電力信号の距離減衰
 - 電波は距離の2乗に反比例して減衰
 - センサノードの位置により得られる電力が大きく変化

電力信号
センサノード ← AP

データ信号
センサノード ← AP

[2] 総務省「帯域内の電波使用状況」(2015)
<http://www.tele.soumu.go.jp/resource/search/myuse/usecondition/wagakuni.pdf>

2

OSAKA UNIVERSITY 特別研究報告 2017/02/21

全二重無線通信によるデータ電力同時伝送

- 無線全二重通信で電力とデータを同時伝送
 - 同じ周波数帯を使用 → 電波資源を節約
- ネットワーク構成
 - アクセスポイント (AP)
 - 電力信号を送信しながらデータ受信が可能
 - 他の AP と相互に有線接続
 - センサノード
 - 電波から電力を得るためレチナを具備
 - バッテリーを不所持
- キャリアセンスを用いたメディアアクセス方式は使用不可
 - キャリアセンスが誤動作
 - 単一アクセスポイントを用いたメディアアクセス制御方式[4]

[4] 藤澤俊介, 他. "無線全二重通信によるデータ電力同時伝送のためのメディアアクセス制御方式," 情報処理学会研究報告, vol. 2015-CDS-14, no. 7, pp. 1-8, 2015.

3

OSAKA UNIVERSITY 特別研究報告 2017/02/21

複数アクセスポイントを用いた 全二重無線通信によるデータ電力同時伝送

- 単一 AP を用いたデータ電力同時伝送の課題
 - 電力伝送を行える範囲が狭い
 - 伝送できる電力量が小さい
 - 電力が足りないとデータ収集率が減少
 - センサノードがセンサデータを送信できないため

電力不足

複数のアクセスポイントを設置することで解決

- 複数のアクセスポイント環境での問題
 - アクセスポイント間の衝突
 - センサノードとアクセスポイントの通信割り当て

4

OSAKA UNIVERSITY 特別研究報告 2017/02/21

アクセスポイント間の衝突

- データ信号と電力信号の衝突が発生
 - 制御フレームと電力信号の衝突
 - センサデータと電力信号の衝突
- 衝突問題を回避する工夫が必要

1. 制御フレームと電力信号の衝突

2. センサデータと電力信号の衝突

5

OSAKA UNIVERSITY 特別研究報告 2017/02/21

センサノードとアクセスポイントの通信割り当て

- データ受信中のAPのみが電力伝送
 - AP とセンサノードの位置関係によって電力伝送効率に変化
 - 通信割り当てによってアクセスポイントの電力伝送時間が変化
- 通信割り当ての工夫が必要
 - 供給電力量の偏りを抑えて電力資源を有効活用

電力資源の分配が必要

供給電力量

必要電力量

センサノード毎の蓄電量

通信割り当てを工夫

供給電力量

必要電力量

センサノード毎の蓄電量

6

OSAKA UNIVERSITY 特別研究報告 2017/02/21

提案手法: TD-PEBS

電力伝送効率を改善する通信制御手法

- 集中制御による時分割衝突回避 (Time Division)**
 - 制御フレームによって AP とセンサノードの通信を集中制御
 - AP が電力信号を送信するタイミングを制限
- 電力推定に基づく通信割り当て (Power Estimation and Balancing Scheduling)**
 - 各センサノードが得られる電力量を推定
 - 各センサノード間の電力量の偏りを一定以下に抑制

*TD-PEBS: Time Division - Power Estimation and Balancing Scheduling

7

OSAKA UNIVERSITY 特別研究報告 2017/02/21

提案手法: 集中制御による時分割衝突回避

- アクセスポイントとセンサノードの通信を集中制御**
 - 制御フレームを用いてセンサノードとアクセスポイントを同期
- 衝突が起きないように電力伝送**
 - センサデータを受信しているアクセスポイントのみが電力伝送

8

OSAKA UNIVERSITY 特別研究報告 2017/02/21

提案手法: 電力推定に基づく通信割り当て

- 既知の情報から各センサノードの蓄電量を推定**
 - センサノードのセンシング間隔, 送受信の消費電力
 - APとセンサノードの位置
- センサノードの蓄電量の偏りを抑制するように通信割り当てを実行**
 - センサノード間の蓄電量の偏りを抑えた上で伝送電力を最大化

- センサノード選択**
データ送信を行うセンサノードの中から AP が割り当てられていないセンサノードを1つ選択
- 蓄電量推定**
センサノードの送受信時の消費電力量や位置情報, 現在の通信割り当てからセンサノードの蓄電量推定
- AP とセンサノード通信割り当て**
蓄電量の偏りが大きい → 蓄電量の偏りを最小化
蓄電量の偏りが小さい → 電力伝送量を最大化

9

OSAKA UNIVERSITY 特別研究報告 2017/02/21

評価環境

- 機器内ネットワークなどを想定**
- トポロジ**
 - センサノード数 200, アクセスポイント数 1-8
 - 100 x 100 (cm²)空間にランダムに配置
- 通信**
 - センサデータを送信ができていない内に次のセンシングが来たら前のセンサデータは破棄
 - 物理層でのパケットエラー率は 0
 - センサデータの送信間隔は 1 秒
- 評価指標**
 - データ収集率 = $\frac{\text{アクセスポイントが受信できたパケット数}}{\text{センサノードが送信する予定のパケット数}}$
 - 電力不足による送受信失敗もパケットエラーに含む

- 衝突回避手法の比較対象**
 - HD-SWIPT TDMA
 - 半二重通信を用いて時分割でデータ電力伝送
 - 集中制御
 - P-CSMA/CA[4]
 - 電力伝送の際にもキャリアセンスを実行
 - 分散制御
- 通信割り当て手法の比較対象**
 - 最近傍割り当て (TD-Nearest)
 - 各センサノードに最も近いAPがセンサデータ受信
 - ランダム割り当て (TD-Random)
 - センサデータを受信するAPをランダムに決定

[4] 渡辺啓介, 他, “無線全二重通信によるデータと電力同時伝送のためのメディアアクセス制御方式,” 情報処理学会研究報告, vol. 2015-CDS-14, no. 7, pp. 1-8, 2015.

10

OSAKA UNIVERSITY 特別研究報告 2017/02/21

衝突回避手法の評価

- HD-SWIPT TDMAより最大30%データ収集率を改善**
- 提案手法はAPの数によってP-CSMA/CAと優位性が逆転**
 - 提案手法は制御フレームのオーバーヘッドが存在
 - P-CSMA/CAは電力信号とデータ信号が帯域を一定の割合で分け合う

全二重通信を用いることでデータ収集率が向上
AP数が増加するにしたがいデータ収集率が向上

11

OSAKA UNIVERSITY 特別研究報告 2017/02/21

通信割り当て手法の評価

ネットワーク全体のデータ収集率

アクセスポイント数が8の時のセンサノードごとのデータ収集率

データ収集率が0に近いセンサノードの割合が小さい

- ネットワーク全体のデータ収集率が向上
- データ収集率の偏りを抑制

12

まとめと今後の課題

まとめ

- 無線全二重通信によるデータ電力同時伝送手法の提案
 - 集中制御による衝突回避
 - 電力推定に基づく通信割り当て
 - 蓄電量の偏りを抑える通信割り当てで電力伝送効率を向上
- 性能評価
 - 半二重通信よりも30%データ収集率を改善
 - アクセスポイント数が多い場合、分散手法よりもデータ収集率を改善
 - データ収集量の偏りが抑制できることを確認

今後の課題

- 実機を用いた伝送電力量の測定
- アクセスポイントの消費電力の考慮